



⑱ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Gebrauchsmuster**  
⑩ **DE 295 21 780 U 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 B 9/021**  
G 01 J 9/02  
// G 01 B 103:10

⑦① Aktenzeichen: 295 21 780.4  
⑥⑦ Anmeldetag: 15. 2. 95  
aus Patentanmeldung: 195 04 907.1  
④⑦ Eintragungstag: 6. 8. 98  
④③ Bekanntmachung  
im Patentblatt: 17. 9. 98

③① Unionspriorität:  
941029381 26. 02. 94 EP

⑦③ Inhaber:  
Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut,  
DE

⑤④ Interferometer

**BEST AVAILABLE COPY**

**DE 295 21 780 U 1**

200000

DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH

14. Februar 1995

) Interferometer

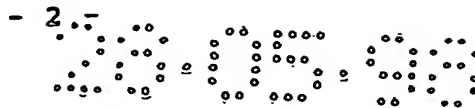
=====

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

5 Derartige Vorrichtungen dienen zur interferentiellen Messung von Längen, Winkeln, Gangunterschieden oder Geschwindigkeiten mit Hilfe einer Zweistrahlinterferenz-Anordnung.

) Bei Zweistrahl-Interferometern, die den Anordnungen nach Michelson, Mach-Zehnder, oder ähnlichen Anordnungen entsprechen, liefert die mit dem jeweiligen Meßvorgang verbundene Gangunterschieds- bzw. Phasenänderung zwischen den beiden Teilstrahlbündeln noch keine Information über das Vorzeichen dieser Veränderungen bzw. das Vorzeichen der Änderungsgeschwindigkeit. Durch verschiedene bekannte Verfahren und Geräte kann diese Information zusätzlich gewonnen und meßtechnisch ausgewertet werden. Den Meßverfahren liegt die prinzipielle

10  
15  
20



Erkenntnis zugrunde, daß phasenverschobene, verkettete sinusförmige Signalpaare, wie sie aus den Interferenzerscheinungen abgeleitet werden, eine Richtungsdiskriminierung ermöglichen.

5

10

15

20

Die Eigenschaften der bekannten Interferometer, bei denen solche Signalauswertungen vorgenommen werden, sind aus verschiedenen Gründen je nach Anwendung unbefriedigend. Bei einem Teil der Instrumente stören Lichtanteile, die aus dem Interferometer in die Laser-Lichtquelle zurücklaufen. Bei anderen Geräten ist es nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich, zur Unterteilung der Modulationsperioden eine größere Zahl von optischen Signalen zu erzeugen, die untereinander vorgeschriebene Phasenunterschiede haben. Bei Erzeugung von zueinander phasenverschobenen Signalen fehlen einfache Methoden zur gleichzeitigen Gewinnung von optischen Gegen taktsignalen, die die Arbeitspunkte der Signalverstärker stabilisieren.

25

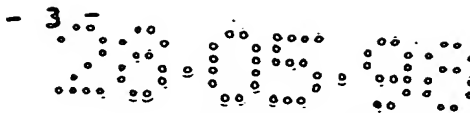
Üblicherweise wird ein solches Interferometer wie folgt aufgebaut: Neben einem Strahlteiler und zwei Retroreflektoren sind eine Reihe von polarisationsoptischen Bauteilen nötig, um geeignete phasenverschobene Signale ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ) zu erzeugen und damit eine Richtungserkennung zu ermöglichen.

30

Diese polarisationsoptischen Bauteile sind groß, teuer und aufwendig zu justieren.

35

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine meßtechnisch befriedigende Vorrichtung für interferentielle Messungen beliebiger Art zu schaffen, die besonders einfach aufgebaut ist.



Diese Aufgabe wird von einem Interferometer mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

5      Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen entnimmt man den Unteransprüchen.

10      Die erfindungsgemäß besonders vorteilhafte Lösung besteht darin, die Signalauswertung über ein spezielles Gitterbauelement zu realisieren. Dabei werden drei um jeweils  $120^\circ$  gegeneinander verschobene Detektorsignale ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ ) erzeugt, die eine Richtungserkennung der Spiegelverschiebung ermöglichen.

15      Anhand der Zeichnungen wird mit Hilfe von Ausführungsbeispielen die Erfindung noch näher erläutert.

Es zeigt

20      Figur 1      einen Prinzipaufbau eines erfindungsgemäßen Michelson-Interferometers;

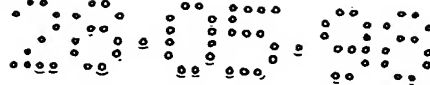
25      Figur 2      eine Variante eines Interferometers gemäß Figur 1;

Figur 3      eine Einzelheit, die mögliche Nachteile zeigt;

30      Figur 4      eine von der Einzelheit nach Figur 3 abweichende Einzelheit ohne diese Nachteile;

35      Figur 5      eine weitere Einzelheit mit besonderen Vorteilen;

Figur 6      ein Gitterelement ähnlich der Ausführung in Figur 5 und



Figur 7 eine Variante eines Gitterelementes.

Ein in Figur 1 dargestellter Prinzipaufbau eines  
 5 Michelson-Interferometers 1 weist als Lichtquelle 2  
 einen Laser auf, der ein kohärentes Strahlenbündel  
 3 aussendet. An einem Strahlteiler 4 werden aus dem  
 Strahlenbündel 3 zwei Teilstrahlenbündel 5 und 6  
 erzeugt. Dabei bildet das Teilstrahlenbündel 5 den  
 10 Referenzarm R und das Teilstrahlenbündel 6 den Meß-  
 arm M.

Beide Teilstrahlenbündel 5 und 6 durchlaufen ein  
 ihnen jeweils zugeordnetes Reflexionselement, hier  
 15 in Form von Tripel-Spiegeln 7 und 8. Die von den  
 Tripel-Spiegeln 7 und 8 reflektierten Teilstrahlen-  
 bündel 5 (R) und 6 (M) treffen am selben Ort auf  
 ein Beugungsgitter 9, welches als Strahlvereiniger  
 fungiert.

Am Beugungsgitter 9 werden die eintretenden Teil-  
 strahlenbündel 5 (R) und 6 (M) jeweils in ver-  
 schiedene Ordnungen gebeugt, beispielsweise in die  
 0., 1. und 2. Ordnung und interferieren miteinander  
 25 in drei resultierenden Richtungen. Dabei ergeben  
 sich zueinander phasenverschobene Intensitäts-Mo-  
 dulationen, die von drei Sensoren 10, 11, 12  
 detektiert und in bekannter Weise in zueinander  
 phasenverschobene elektrische Signale umgewandelt  
 30 werden.

Durch die spezielle Ausgestaltung des Beugungsgit-  
 ters 9 (Gitterkonstante, Steghöhe, Stegbreite) sind  
 die Größe, der Modulationsgrad und die Phasenlage  
 35 der drei Signale zueinander bestimmt und müssen  
 nicht mehr durch Justieren optimiert werden.

Damit sich die aus den Teilstrahlenbündeln 5 (R) und 6 (M) gebeugten Strahlenbündel 0., 1. und 2. Ordnung jeweils paarweise überlagern und miteinander interferieren können, sind die Einfallswinkel der Teilstrahlenbündel 5 (R) und 6 (M) auf das Gitter 9, die Wellenlänge des verwendeten Lichtes und die Gitterkonstante des Phasengitters 9 aufeinander abzustimmen.

Dieses Erfordernis führt zu der besonders vorteilhaften Ausführungsform eines Interferometers 12 gemäß Figur 2. Der besondere Vorteil liegt dort darin, daß ein Phasengitter 92 sowohl zur Strahlteilung als auch zur Strahlvereinigung dient.

Die am Beugungsgitter 92 gebeugten Teilstrahlenbündel 52 (R) und 62 (M) treffen nach der Reflexion an den Tripel-Spiegeln 72 und 82 zwangsläufig wieder in exakt richtigem Winkel auf das Beugungsgitter 92, werden dort erneut gebeugt und interferieren paarweise miteinander. Drei Detektoren 102, 112, 122 wandeln die interferierenden Strahlenpaare in elektrische Signale um, die zueinander eine Phasenverschiebung von jeweils  $120^\circ$  aufweisen.

Diese bevorzugte Ausführungsform weist ein Minimum an Bauteilen auf, so daß auch der Justieraufwand minimiert ist. Lediglich eine Lichtquelle 22, ein Phasengitter 92, zwei Reflektoren 72, 82 und drei Detektoren 102, 112, 122 sind funktionell für ein derartiges Interferometer 12 erforderlich.

Dabei ist es von Vorteil, daß das Phasengitter 92 am Strahlteilungsort X zwar die gleiche Gitterkonstante hat wie am Strahlvereinigungsort Y, jedoch eine andere Steghöhe und Stegbreite, um möglichst wenig Licht in unbenützte Ordnungen zu beugen.

Wie in Figur 3 dargestellt ist, sind derartige Interferometer empfindlich gegenüber Änderungen von Gitterkonstante und/oder Wellenlänge.

5 Eine Vergrößerung der Wellenlänge führt z.B. zu einer Vergrößerung der Beugungswinkel (gestrichelte Linien in Figur 3). Das hat zwar keinen Einfluß auf die Phasenauswertung selbst, doch würde sich dadurch die Meßrichtung bzw. bei fest vorgegebener  
10 Richtung kosinus-abhängig die gemessene Länge ändern. Deswegen muß sowohl die Wellenlänge als auch die Gitterkonstante des Gitters 93 konstant gehalten werden (z.B. durch Verwendung eines Referenzinterferometers und eine Nachregelung der  
15 Laserfrequenz und durch Herstellung des Gitters aus Materialien mit niedrigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie Quarz oder Werkstoff mit dem Handelsnamen Zerodur). Falls diese Konstanz aus irgendwelchen Gründen nicht eingehalten werden  
20 kann, weil z.B. für Absolutmessungen die Wellenlänge bewußt durchgestimmt werden soll, kann das Problem wie in Figur 4 dargestellt, behoben werden:

25 Statt das Aufspaltgitter 94 senkrecht zu beleuchten und die +1. Beugungsordnung auszunutzen, kann man den Laserstrahl 34 schräg auf das Gitter 94 auftreffen lassen (Figur 4) und die 0. und -2. Beugungsordnung ausnutzen. Die Richtung der 0. Beugungsordnung, die in den Meßarm M geht, ist von  
30 Gitterkonstante und Wellenlänge unabhängig und ändert damit ihre Richtung nicht. Die Richtung der -2. Beugungsordnung, die den Referenzarm R speist, ändert sich, aber da der Referenzarm R im allgemeinen kurz ist, fällt die damit verbundene  
35 Änderung der Länge des Referenzarmes R nicht ins Gewicht.

In Figur 5 ist eine Gittereinzelheit dargestellt, bei der die im allgemeinen fehlerverursachenden Einflüsse der vorstehend genannten Art sich nicht mehr negativ auswirken können. Dies wird durch den geringen Mehraufwand eines zweiten Gitters 95b er-  
kauft, welches hinsichtlich seiner Parameter mit dem ersten Gitter 95a identisch und zu diesem parallel angeordnet ist. Diese Gitteranordnung kann als achromatisches Gitterelement 95 bezeichnet werden, das auch aus dem oben beschriebenen Gitter 95a besteht und bei dem das zweite Gitter 95b auch aus einem Gitter mit zwar identischer Gitterkonstante, jedoch abweichender Steghöhe und Stegbreite bestehen kann. Bei einer Änderung der Wellenlänge oder einer für beide Gitter 95a, 95b gleichen Änderung der Gitterkonstante werden die Strahlenbündel 55, 65 nur parallel verschoben, was auf die Messung und die Meßgenauigkeit keinerlei Einfluß hat.

Die nullte (0.) Ordnung kann durch eine Blende B ausgeblendet werden.

In Figur 6 ist ein Gitterelement 96 gezeigt, bei dem in einer Ebene 14 mehrere Teilgitter 96a und 96b angeordnet sind. Das Substrat 13 ist auf der den Teilgittern 96a und 96b gegenüberliegenden Oberfläche 15 in Teilbereichen 16 verspiegelt.

Ein vom Teilgitter 96a in Teilstrahlenbündel 56 und 66  $\pm 1$ . Ordnung aufgespaltenes Eingangs-Strahlenbündel 36 liefert die Teilstrahlenbündel für den Referenz R- und Meßarm M. Diese Teilstrahlenbündel 56 bzw. R und 66 bzw. M werden an den verspiegelten Oberflächenbereichen 16 reflektiert und auf die

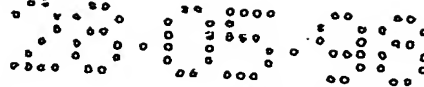


Teilgitter 96b gelenkt. Dort werden sie gebeugt und  
nochmals reflektiert, so daß sie als Referenz R-  
und Meßarm M im wesentlichen parallel zum Ein-  
gangs-Strahlenbündel 36 aus dem Substrat 13 austre-  
ten.

Wie in Figur 7 dargestellt, können die Teilstrah-  
lenbündel 57 bzw. R und 67 bzw. M durch entspre-  
chend verspiegelte Teilbereiche 167 der Oberflächen  
147 und 157 des Substrates 137 auch mehrfach re-  
flektiert werden. Im Übrigen entspricht diese An-  
ordnung jener gemäß Figur 6.

Auch bei diesen Ausführungsbeispielen kann die 0.  
Ordnung durch Blenden B6 und B7 ausgeblendet wer-  
den.

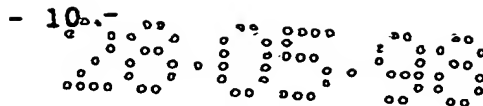
Durch die beiden vorstehend beschriebenen Ausfüh-  
rungsformen läßt sich die Baulänge des Gitterele-  
mentes abhängig von der Anzahl der Reflexionen auf  
mindestens die Hälfte reduzieren.



### Ansprüche

=====

1. Interferometer (1), insbesondere nach Art eines  
Michelson-Interferometers mit einem Referenz-  
strahlgang (R) und einem Meßstrahlengang (M),  
die mittels eines Strahlteilers (4) aus einem  
kohärenten Strahlenbündel (3) erzeugt werden,  
und mittels Reflektoren (7, 8) auf einen Strahl-  
vereiniger (9) zurückgeworfen, von diesem zur  
Interferenz gebracht und von Detektoren (10, 11,  
12) detektiert werden, dadurch gekennzeichnet,  
daß zumindest der Strahlvereiniger als Phasen-  
gitter (9) ausgebildet ist, dessen Gitterparame-  
ter wie Gitterkonstante, Steghöhe, Stegbreite so  
bestimmt sind, daß wenigstens zwei zueinander  
phasenverschobene Paare von miteinander inter-  
ferierenden Teilstrahlenbündeln erzeugt werden,  
aus denen mit Hilfe der Detektoren (10, 11, 12)  
zueinander phasenverschobene Signale zur rich-  
tungsabhängigen Meßwertbildung gewonnen werden.
2. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß durch das Phasengitter (92) sowohl  
der Strahlteiler als auch der Strahlvereiniger  
realisiert wird.



3. Interferometer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Phasengitter (92) am Strahlteilungsort (X) und am Strahlvereinigungsort (Y) die gleiche Gitterkonstante, jedoch unterschiedliche Steghöhen und/oder Stegbreiten aufweisen.  
5
4. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Phasengitter durch ein Gitterelement (95) realisiert ist, welches aus zwei zueinander parallel angeordneten Phasengittern (95a, 95b) mit identischen Gitterparametern besteht.  
10
5. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Phasengitter durch ein Gitterelement (95) realisiert ist, welches aus zwei zueinander parallel angeordneten Phasengittern (95a, 95b) mit identischen Gitterkonstanten jedoch abweichenden Steghöhen und Stegbreiten besteht.  
15  
20
6. Interferometer nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei parallelen Phasengitter (95a, 95b) starr miteinander verbunden sind.  
25
7. Interferometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Phasengitter (97) durch ein Gitterelement realisiert ist, welches auf einem Substrat (13; 137) mehrere Teilgitter (96a, 96b; 97a, 97b) aufweist, die bevorzugt in einer teilverspiegelten Ebene (14; 147) angeordnet sind, und bei dem die dieser Ebene (14; 147) gegenüberliegende Oberfläche (15; 157) des Substrates (13; 137) in Teilbereichen (16; 167) ebenfalls reflektierend ist.  
30  
35

28.05.99

- 5 8. Interferometer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß eines der Teilgitter (96a; 97a) das eintretende Strahlenbündel (36; 37) in Teilstrahlenbündel (56, 66; 57, 67) +1. Ordnung aufspaltet, welche an den Teilbereichen (16; 167) reflektiert, auf die weiteren Teilgitter (96b; 97b) gerichtet, an ihnen gebeugt werden und im wesentlichen parallel zum Eingangs-Strahlenbündel (36; 37) als Referenz (R)- und Meßarm
- 10 (M) aus dem Substrat (13; 137) austreten.
- 15 9. Interferometer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (137) derart mit reflektierenden Teilbereichen (167) ausgestattet ist, daß die Teilstrahlenbündel (57, 67) im Substrat (137) mehrfach reflektiert bzw. gebeugt werden, bevor sie im wesentlichen parallel zum Eingangs-Strahlenbündel (37) als Referenz (R)- und Meßarm (M) aus dem Substrat (137) austreten.
- 20 10. Interferometer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilgitter (96a, 96b; 97a, 97b) identische Gitterparameter aufweisen.
- 25 11. Interferometer nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilgitter (96a, 96b; 97a, 97b) identische Gitterkonstanten, jedoch unterschiedliche Steghöhen und Stegbreiten aufweisen.

FIG. 1

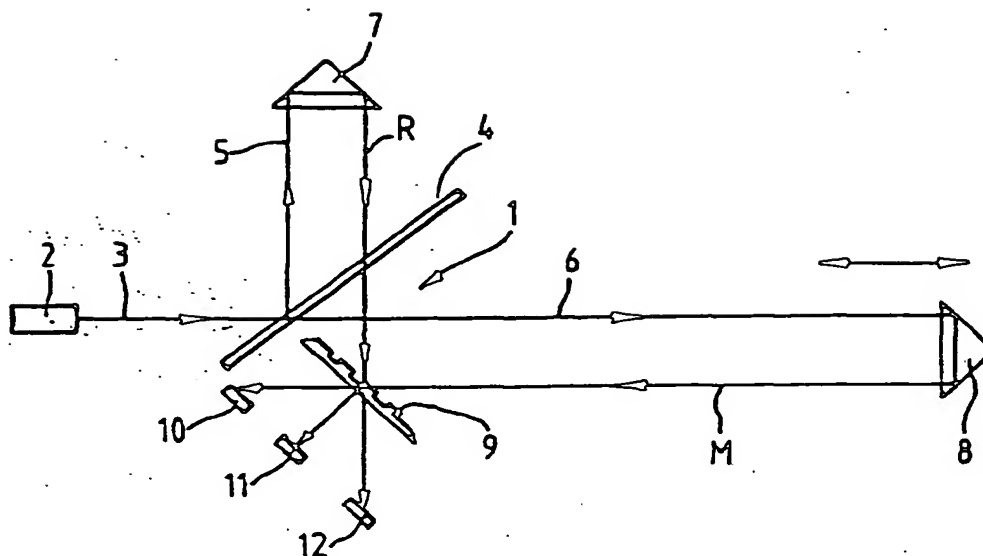


FIG. 2

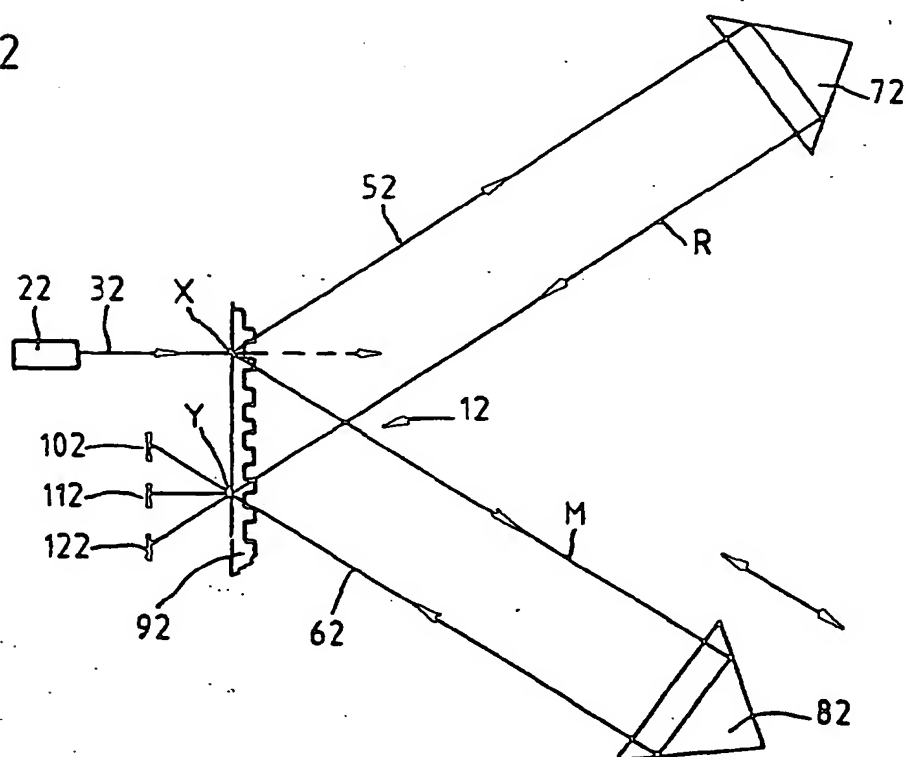


FIG. 3

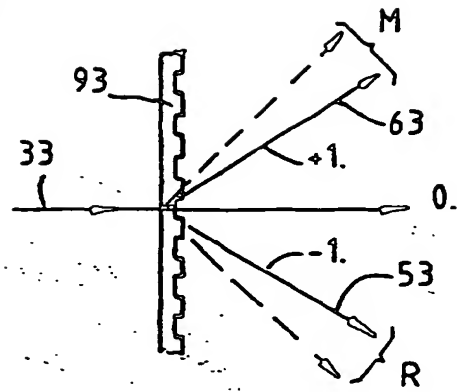


FIG. 4

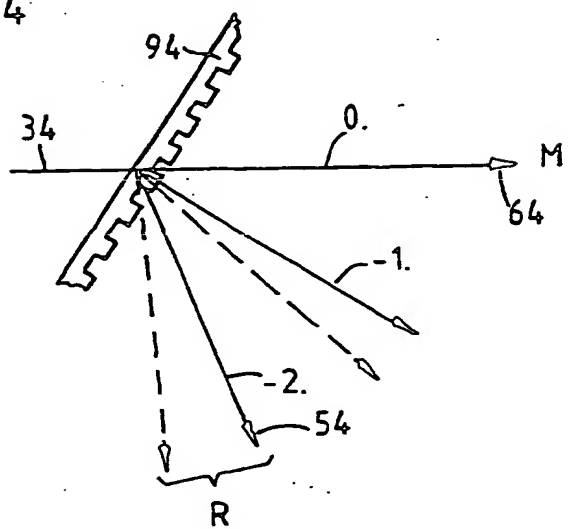


FIG. 5

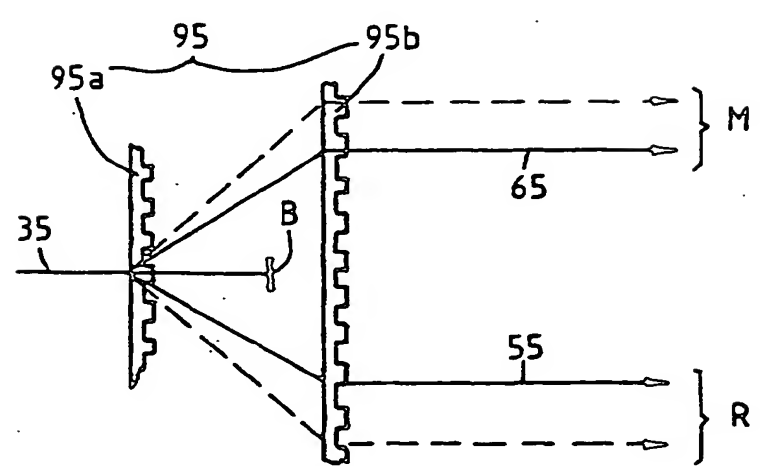


FIG. 6

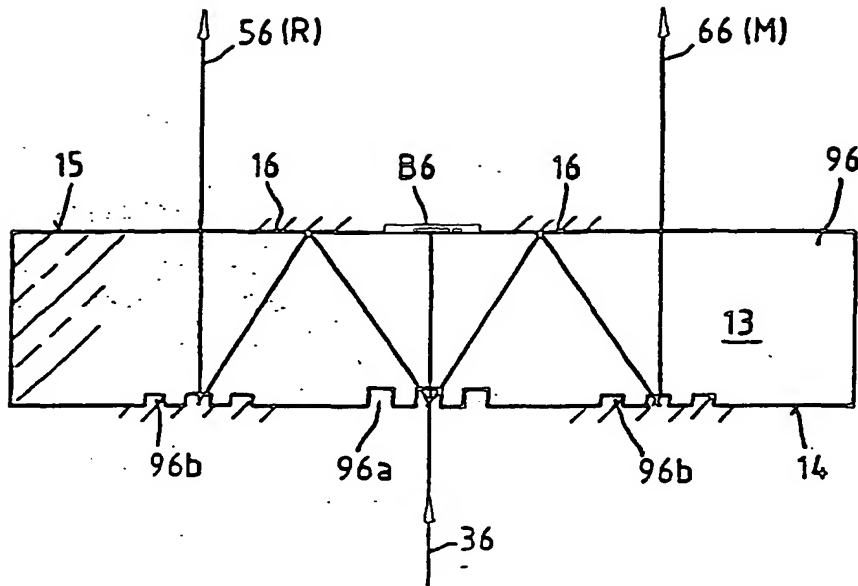
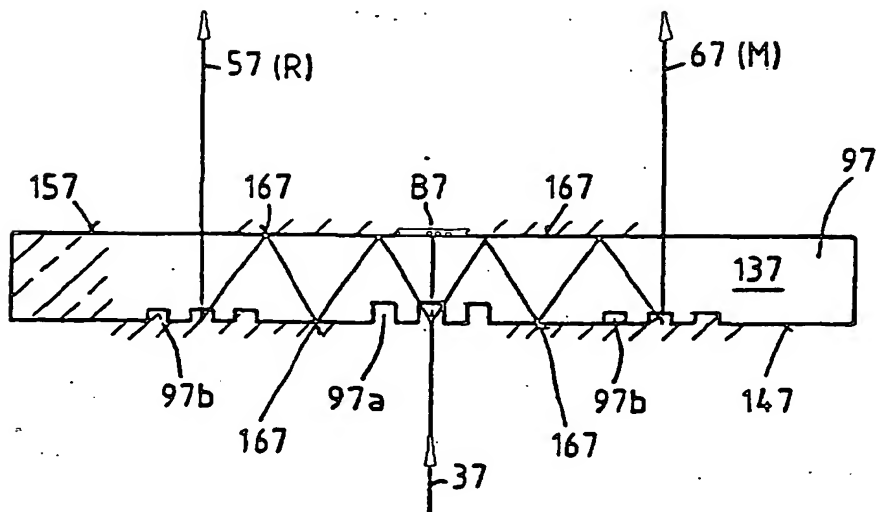


FIG. 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**